دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

"مقاله پژوهشی"

ارزیابی مدل‌های مختلف غیرخطی قطر- ارتفاع ممرز در توده‌های جنگلی ناهمسال (مطالعه موردی: جنگل رضاییان)

انوشیروان عالمی[۱]، جعفر اولادی[۲]، اصغر فلاح[۳] و یاسر مقصودی[۴]

۱- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: Anoshiravana@yahoo.com)
۲- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴- استادیار، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱
صفحه: ۲۹ تا ۳۸

چکیده

ارزیابی وضعیت توده جنگلی در طول زمان به‌دقت و نوع مدل‌های قطر - ارتفاع وابسته است. در این پژوهش مدل‌های مختلف غیرخطی قطر- ارتفاع برای برآورد دقیق ارتفاع درختان ممرز در توده‌های ناهمسال آمیخته نامنظم در بخشی از سری چهار جنگل رضاییان علی‌آباد ارزیابی شد. ۲۰۰ قطعه نمونه دایره‌ای شکل به‌مساحت ۱۰۰۰ مترمربع و به‌روش تصادفی- منظم به ابعاد شبکه ۲۰۰ ×۱۵۰ متر و با شدت ۳/۳۳ درصد در جنگل مورد مطالعه پیاده شد. در تمام قطعات نمونه، مشخصه‌های گونه، قطر برابر سینه تمام درختان ممرز با قطر برابر سینه بیشتر از ۷/۵ سانتیمتر و ارتفاع درختان اندازه‌گیری و ثبت شد. با استفاده از ۴۳ مدل رگرسیونی غیرخطی، ارتباط بین ارتفاع به‌عنوان متغیر وابسته و قطر به‌عنوان متغیر مستقل بررسی و تجزیه و تحلیل شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که نتایج معیارهای ارزیابی مدل، تفاوت زیادی با یکدیگر نداشتند و ازنظر آماری تفاوت معنی‌داری بین مقادیر برآوردشده با استفاده از مدل‌های مختلف و مقادیر واقعی در سطح اطمینان ۹۹ درصد وجود نداشت. همچنین پنج مدل رگرسیونی غیرخطی پیل رید، پرودان، لجستیک تعدیل‌شده، مورگان-مرسر-فلودین و سیگموئید مضاعف با ضریب تبیین به‌ترتیب ۰/۸۲۶، ۰/۸۲۵، ۰/۸۲۵ و ۰/۸۲۵ و درصد مجذور میانگین مربعات خطای به‌ترتیب ۷/۷۴، ۷/۶۶۲، ۷/۶۷۰، ۷/۶۸۳ و ۷/۷۶ درصد، نتایج مشابه و نزدیک به‌هم داشتند و توانایی خوبی برای برآورد ارتفاع درختان ممرز با دقت مناسب داشتند. این مدل‌ها می‌توانند در برآورد ارتفاع درختان ممرز در صورت تأیید و تکرار این نتایج در مناطق جنگلی دیگر شمال ایران، در جنگل‌های پهن‌برگ استفاده شوند.

واژه‌های کلیدی: آماربرداری، جنگل‌های رضاییان، مدل قطر- ارتفاع، ممرز

مقدمه

مدیریت پایدار و برنامه‌ریزی صحیح منابع جنگلی به اطلاعات دقیق و با کیفیت از وضعیت حال و آینده جنگل نیازمند است. یکی از این منابع جنگلی مهم، جنگل‌های خزری است که در دهه‌های اخیر به‌دلایل متعدد دستخوش تغییرات زیادی شده است که حفظ، دوام آن، بررسی مداوم، چاره‌اندیشی و تمهیدات همه‌جانبه را می‌طلبد. به‌همین دلیل کسب اطلاعاتی دقیق و به‌هنگام از وضعیت کمی این منابع جنگلی در برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح این منابع، از اولویت زیادی برخوردار است. مشخصه‌های قطر برابر سینه و ارتفاع درختان، از مهمترین مؤلفه‌های مورد نیاز در آماربرداری جنگل هستند. اندازه‌گیری ارتفاع درختان نسبت به قطر برابر سینه به‌دلیل نیاز به زمان بیشتر برای اندازه‌گیری، احتمال خطای مشاهداتی و موانع موجود برای دید رفتن به بن و نوک درختان، مشکل‌تر، زمان‌برتر و پرهزینه‌تر است (۶،۳۱). در آماربرداری جنگل در بیشتر کشورها، فقط ارتفاع تعداد محدودی از درختان اندازه‌گیری می‌شود (۶،۱۳). با توجه به رابطه قوی و تنگاتنگ قطر برابر سینه و ارتفاع درختان، برای پیش‌بینی دقیق ارتفاع درختان دیگر، باید از مدل‌های قطر- ارتفاع دقیق استفاده شود (۵). این مدل‌ها ابزاری مهم برای اهداف مدیریتی در جنگل‌های پهن‌برگ، ناهمسال و نامنظم هیرکانی هستند. مدل‌های قطر- ارتفاع، کاربردهای زیادی در مدیریت جنگل مانند برآورد زیتوده، ذخیره کربن و موجودی سرپا (۱۸،۱۱)، تحلیل و تجزیه ساختار توده (۱۰،۱۶)، تعیین مدل‌های محصول و رویش درختان (۲۷)، تعیین ارتفاع غالب و شاخص رویشگاه (۳۳) و پایداری توده و ارزیابی خسارت (۲۱) دارند. با توجه به رویکرد جدید مدیریت جنگل‌های هیرکانی در سال‌های اخیر براساس اهداف جنگلداری چندمنظوره، مدیران برای ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی رویش و محصول در راستای مدیریت پایدار این منابع، به روابط قطر- ارتفاع دقیق نیاز دارند، بنابراین مدل‌های قطر- ارتفاع برای درک بهتر روابط مختلف در طبیعت، توصیف و بررسی تفاوت‌ها و تأثیرگذاری در توسعه اکوسیستم‌های جنگلی ضروری هستند و دقت این مدل‌ها برای تهیه جداول حجم دقیق و پیش‌بینی هرچه دقیق‌تر مدل‌های رویش و محصول بسیار مهم است (۱۹،۲۲).

تاکنون مدل‌های خطی و غیرخطی زیادی برای گونه‌های گوناگون در مناطق مختلف پیشنهاد شده است که اغلب برای توده‌های همسال یا جنگلکاری‌ها استفاده شده‌اند. مدل‌های قطر- ارتفاع در رویشگاه‌های مختلف و برای گونه‌های مختلف، متفاوت هستند و حتی در توده‌های همسال و خالص نیز در همه موقعیت‌ها یکسان نیستند (۸). در توده‌های ناهمسال و نامنظم، درختان ازنظر سن، گونه، اندازه، تاج، کیفیت رویشگاه، تراکم توده و موقعیت نسبی درختان در توده

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.16.5.0]
[DOI: 10.52547/ifej.8.16.29]

متفاوت هستند و اجرای شیوه تک‌گزینی و تغییرات دینامیک توده نیز باعث ایجاد تغییرات می‌شود (۳۱) بنابراین روابط قطر– ارتفاع در این توده‌ها همیشه ثابت نیست و به‌سختی می‌توان آن را برازش داد. مطالعات زیادی در خارج از کشور در مورد برازش مدل‌های قطر– ارتفاع برای گونه‌های مختلف انجام شده است، درحالی‌که مطالعات کمی در ایران در مورد به‌کارگیری مدل‌های مختلف قطر– ارتفاع در شرایط رویشگاهی متفاوت انجام شده است. احمدی و همکاران (۱) مدل‌های غیرخطی قطر– ارتفاع را برای راش در جنگل آموزشی– پژوهشی دانشگاه تربیت‌مدرس، بررسی و تجزیه و تحلیل کردند. نتایج به‌دست‌آمده از این بررسی نشان داد که میانگین مجذور مربعات خطا بین سه تا چهار متر بود و مدل چاپمن ریچارد به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شد. بیات و همکاران (۳)، در پژوهشی در منطقه گرازبن جنگل خیرودکنار به ارائهٔ مدل‌های حجم، ارتفاع و تولید چوب در گونهٔ راش براساس تغییرات حجمی و تعداد در یک دورهٔ نه‌ساله پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که مدل پرودان با ضریب تبیین ۰/۹۴۵ و مجذور میانگین مربعات خطا ۴/۶۸ بهترین نتیجه در برآورد ارتفاع درختان راش را دارا می‌باشد. فانگ و بایلی (۹)، ۳۳ مدل قطر–ارتفاع را برای جنگل‌های تروپیکال جزیره هاینان چین مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار دادند و نتایج آن‌ها نشان داد که میانگین مجذور مربعات خطا بین دو تا چهار متر بود. هوآنگ و همکاران (۱۱) با استفاده از مدل‌های غیرخطی، مناسبترین مدل برای گونه‌های اصلی را بررسی و انتخاب کردند. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش آن‌ها نشان داد که مدل‌های وایبول، لجستیک متعادل‌شده، چاپمن ریچارد و اسنات نتایج خوبی را داشتند.لامبرس و همکاران (۱۳) مدل‌های قطر– ارتفاع سه گونه کاج و لاریکس را در جنوب کره بررسی کردند. نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق آن‌ها نشان داد که مدل لجستیک بهینه‌شده و مدل لاندکویست – کورف در مقایسه با مدل‌های دیگر نتایج بهتری را ارایه داده‌اند. محمدی و شتایی (۱۵) در بخشی از جنگل‌های شصت کلاته گرگان به بررسی ۱۸ مدل غیرخطی قطر– ارتفاع برای گونه ممرز پرداختند. نتایج نشان داد چهار مدل رگرسیونی غیرخطی هایپربولیک، راتکوفسکی، چاپمن– ریچارد و ویبول با درصد مجذور میانگین مربعات خطای به‌ترتیب ۱۲/۹۱، ۱۲/۹۲، ۱۳/۰۱و ۱۳/۰۱ درصد و درصد اریبی به‌ترتیب ۰/۲۱، ۰/۲۲، ۰/۲۱و ۰/۲۲ درصد، نتایج مشابه و نزدیک به‌هم داشتند و توانایی خوبی برای برآورد ارتفاع درختان ممرز داشتند. آزچلیک و همکاران (۱۹) پیش‌بینی ارتفاع درختان ارس جنوب و جنوب غرب ترکیه را با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، مدل غیرخطی با اثرات آمیخته و مدل‌های غیرخطی کلاسیک بررسی کردند. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش آن‌ها نشان داد که دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل غیرخطی با اثرات آمیخته دارای دقت بیشتری نسبت به مدل‌های دیگر بود و میانگین مجذور مربعات خطا را در حدود ۲۰ درصد درمقایسه با مدل‌های غیرخطی کلاس یک کاهش دادند. پنگ و همکاران (۲۲) شش مدل غیرخطی را برای بررسی رابطه قطر– ارتفاع نه گونه اصلی جنگل‌های بورآل استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل چاپمن ریچارد، وایبول و اسنات بهتر توانسته‌اند ارتفاع درختان را برآوردکنند. کاستانو سانتاماریا و همکاران (۵) روش‌های برآورد ارتفاع توده‌های ناهمسال شمال غرب اسپانیا را بررسی و تجزیه و تحلیل کردند. نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق آن‌ها نشان داد که مدل‌های با اثرات آمیخته، میزان میانگین مجذور مربعات خطا را در حدود ۲۲ درصد نسبت به مدل‌های غیرخطی کاهش دادند. ژانگ (۳۵) شش مدل غیرخطی را برای رابطه قطر– ارتفاع درختان در جنگل‌های شمال غرب ایالات متحده آمریکا برازش داد و نتایج مطالعه وی نشان داد که مدل اسنات، وایبول و چاپمن ریچارد بهتر توانسته‌اند ارتفاع درختان را برآورد کنند.

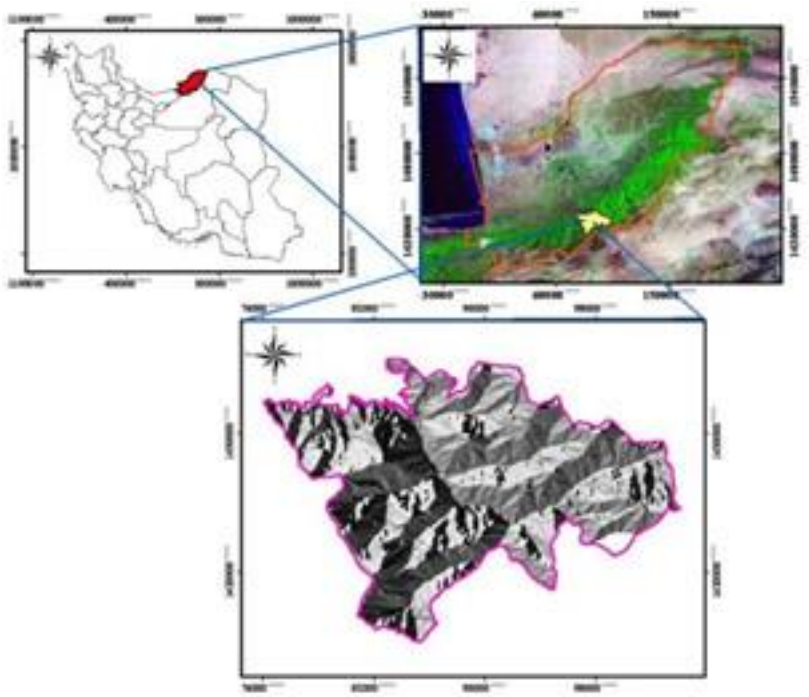
جمع‌بندی و بررسی منابع موجود در مورد برازش مدل‌های مختلف قطر– ارتفاع نشان می‌دهد که نتایج با توجه به مناطق مورد مطالعه و توده‌های جنگلی مورد بررسی متفاوت بوده است. اغلب مطالعات برای توده‌های همسال یا جنگل‌کاری بوده‌اند و کمتر برای توده‌های ناهمسال و آمیخته انجام شده‌اند و مجذور میانگین مربعات خطا بین دو تا چهار متر به‌دست آمده است. مدل‌های قطر– ارتفاع در رویشگاه‌های مختلف، گونه‌های مختلف و حتی در موقعیت‌های مختلف و نامنظم بودن درختان ازنظر سن، گونه، اندازه، تاج، کیفیت رویشگاه، تراکم توده و موقعیت نسبی درختان متفاوت است. روابط قطر– ارتفاع در این توده‌ها همیشه ثابت نیست و به‌سختی می‌توان آن‌ها را برازش داد. این مدل‌ها ابزاری مهم برای اهداف مدیریتی در جنگل‌های پهن‌برگ، ناهمسال و نامنظم هیرکانی برای تهیه جدول حجم تاریف دقیق هستند، بنابراین هدف از پژوهش پیش‌رو به‌کارگیری مدل‌های مختلف قطر– ارتفاع و انتخاب بهترین مدل برای یکی از گونه‌های مهم اقتصادی جنگل‌های هیرکانی یعنی ممرز بود که در توده‌های ناهمسال آمیخته و نامنظم در سری چهار طرح جنگلداری رضاییان انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

طرح جنگلداری رضاییان (سری ۴) در حوضه آبخیز ۸۸، منطبق بر مرزهای جغرافیایی دو شهرستان علی‌آباد و رامیان استان گلستان می‌باشد. منطقه مورد پژوهش با وسعتی معادل ۷۰۰ هکتار در مختصات جغرافیائی "۳۰ '۵۱ °۳۶ تا "۴۳ '۵۳ °۳۶ عرض شمالی و "۵۲ '۰۰ °۵۵ تا "۳۰ '۰۳ °۵۵ طول شرقی واقع شده است. حداقل ارتفاع از سطح دریا منطقه مورد پژوهش ۱۱۰۰ متر و حداکثر ارتفاع از سطح دریا ۱۸۰۰ متر می‌باشد. گونه‌های درختی منطقه مورد مطالعه شامل: *Carpinus betulus* Medw, *Quercus castaneifolia* B&M, *Alnus subcordata* B, *Acer velutinum* B&Bh, *Acer cappadocicum* G, *Tilia begonifolia* S, *Sorbus torminalis* C, *Ulmus glabra* H, *Fraxinus excelsior* M, *Cerasus avium* M, *Taxus baccata* L می‌باشد که در این محدوده تیپ ممرز بلوط غالب می‌باشد.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.16.5.0]
[DOI: 10.52547/ifej.8.16.29]



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در ایران و استان گلستان
Figure 1. The geographical location of study area in Iran and Golestan province

روش پژوهش

با توجه به اینکه هدف اصلی پژوهش پیش‌رو بررسی رابطه قطر- ارتفاع ممرز بود، نیاز به تعدادی قطعات نمونه برای برآورد ارتفاع درختان به‌عنوان مجموعه داده‌های آموزش و مجموعه داده‌های آزمون بود. بدین‌منظور ابتدا با شناسایی اولیه منطقه، نمونه‌برداری به‌روش تصادفی- منظم با شبکه‌ای به‌ابعاد ۲۰۰×۱۵۰ متر، با شدت ۳/۳ درصد (شدت متداول سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور) و قطعات نمونه دایره‌ای شکل به‌مساحت ۱۰۰۰ مترمربع انجام شد، به‌طوریکه ۲۰۰ قطعه‌نمونه در منطقه مورد مطالعه اندازه‌گیری شدند. در تمام قطعات نمونه، مشخصه‌های گونه، قطر برابر سینه تمام درختان ممرز با قطر برابر سینه بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر و ارتفاع درختان اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری قطر برابر سینه از خط کش دوبازو و متر نواری و برای اندازه‌گیری ارتفاع درختان از دستگاه شیب‌سنج سنتو استفاده شد.

تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌های کمی قطر و ارتفاع ازطریق بررسی اولیه آماره‌های توصیفی این داده‌ها انجام شد. برای شناسایی اعداد پرت از رسم نمودار جعبه‌ای و پراکنش باقیمانده‌ها در برابر مقادیر مشاهده‌شده استفاده گردید. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف بررسی‌شد. در پژوهش پیش‌رو برای محاسبات آماری، اجرای مدل‌های رگرسیونی غیرخطی و پردازش اطلاعات جمع‌آوری‌شده از عملیات زمینی مربوط به قطر و ارتفاع و از نرم‌افزارهای Spss 16 و Excel استفاده شد. از کل درختان ممرز اندازه‌گیری‌شده، ۷۰ درصد در فرآیند مدل‌سازی بکار گرفته شدند و ۳۰ درصد بقیه برای ارزیابی مدل‌های برآوردی استفاده شدند. با استفاده از انواع مدل‌های رگرسیونی غیرخطی ارتباط بین ارتفاع به‌عنوان متغیر وابسته و قطر به‌عنوان متغیر مستقل بررسی و تجزیه و تحلیل شد. ۴۳ مدل قطر- ارتفاع برای بررسی رابطه قطر- ارتفاع انتخاب شدند که پیشتر در مطالعات دیگر استفاده شده‌اند (جدول ۱).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.16.5.0]
[DOI: 10.52547/ifej.8.16.29]

جدول ۱– مدل‌های قطر – ارتفاع مورد استفاده در پژوهش پیش‌رو

Table 1. Used Height-diameter model in this study

ردیف	مدل	فرمول مدل	منبع
۱	لگاریتمی	$a + b\ln(D)$	۱۵
۲	لگاریتمی ۲	$\log aD^b$	۲۵
۳	لگاریتمی ۳	$\ln aD^b$	۲۵
۴	لگاریتمی تعدیل‌شده	$(a + cD)^b$	۲۵
۵	لجستیک	$\frac{a}{1 + be^{-cD}}$	۲۰
۶	لجستیک ۲	$\frac{a}{1 + e^{-b(D-c)}}$	۷
۷	لجستیک تعدیل‌شده	$1.3 + \frac{\mathrm{a}}{1 + \mathrm{b}^{-1}\mathrm{D}^{-\mathrm{c}}}$	۲۴
۸	لجستیک تعدیل‌شده ۲	$a + b^{-1}D^{-c}$	۲۵
۹	لگاریتمی لجستیک	$a - \ln(1 + be^{-cD})$	۲۵
۱۰	گومپرتز	$\mathrm{ae}^{-\mathrm{e}^{\mathrm{b}-\mathrm{cD}}}$	۸
۱۱	گومپرتز ۲	$ae^{-be^{-cD}}$	۲۸
۱۲	هایپربولیک	$a + \frac{b}{D}$	۱۵
۱۳	هایپربولیک ۲	$\frac{aD}{b + D}$	۲۴
۱۴	هایپربولیک ۳	$\frac{D^2}{a + bD^2}$	۸
۱۵	توانی	aD^b	۱۵
۱۶	نمایی	e^{a+bD^c}	۱۲
۱۷	نمایی ۲	$\mathrm{ae}^{\frac{\mathrm{b}}{\mathrm{D}}+\mathrm{c}}$	۸
۱۸	نمایی ۳	$a(1 - e^{-bD})$	۱۴
۱۹	نمایی ۴	$ae^{\frac{b}{D}}$	۴
۲۰	نمایی ۵	ae^{bD}	
۲۱	پرودان	$1.3 + \frac{D^2}{aD^2 + bD + c}$	۲۳
۲۲	لندکویسکورف	$1.3 + ae^{-bD^c}$	۳۰
۲۳	هندسی	$aD^{\frac{b}{D}}$	۱۵
۲۴	هندسی ۲	$1.3 + aD^{\frac{b}{D}}$	
۲۵	چاپمن–ریچارد	$1.3 + a(1 - e^{-bD})^c$	۱۵
۲۶	چاپمن–ریچارد ۲	$1.3 + \frac{a}{(1 + ce^{-bD})^{\frac{1}{g}}}$	۲۵
۲۷	وایبول	$1.3 + a\left(1 - e^{-bD^c}\right)$	۳۰
۲۸	راتکوفسکی	$1.3 + ae^{\frac{b}{D+c}}$	۲۴
۲۹	رگرسیون مجانب	$a - bc^D$	۲۵
۳۰	جانسون اسچوماچر	$ae^{\frac{-b}{D+c}}$	۲۵
۳۱	مچرلیخ	$a + be^{-cD}$	۲۶
۳۲	مورگان–مرسر–فلودین	$\frac{ab + cD^g}{b + D^g}$	۱۷
۳۳	پیل رید	$\frac{a}{1 + be^{-(cD+gD^2+hD^3)}}$	۲۰
۳۴	سهمی درجه ۲	$\frac{a + bD + cD^2}{gD^2}$	۲۵
۳۵	سهمی درجه ۳	$\frac{a + bD + cD^2 + gD^3}{hD^3}$	۲۵
۳۶	ورهالتز	$1.3 + \frac{a}{1 + ce^{-bD}}$	۲۵
۳۷	وان برتالانفی	$(a^{1-g} - be^{-cD})^{\frac{1}{1-g}}$	۲۹
۳۸	وان برتالانفی ۲	$a\left(1 - e^{-b(D-c)}\right)$	۲۹
۳۹	تراکم محصول	$(a + bD + cD^2)^{-1}$	
۴۰	درجه دوم	$a + bD + cD^2$	۲۵
۴۱	شنات	$\left[c^b + (g^b - c^b)\frac{1 - e^{-a(D-h)}}{1 - e^{-a(k-h)}}\right]^{\frac{1}{b}}$	۲۵
۴۲	بتا	$a\left[\left(\frac{g - D}{g - c}\right)\left(\frac{D - b}{c - b}\right)^{\frac{c-b}{g-c}}\right]^h$	۳۲
۴۳	سیگموئید مضاعف	$\frac{h}{1 + e^{-(a+bD+cD^2+gD^3)}}$	۳۴

D قطر برابر سینه برحسب سانتی‌متر و a، b، c، f، g، h، k ضریب‌های مدل

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.16.5.0]
[DOI: 10.52547/ifej.8.16.29]

اعتبارسنجی مدل‌ها به شیوه‌های مختلفی انجام می‌شود. در پژوهش پیش‌رو به‌منظور ارزیابی و برازش مدل‌ها، ۳۰ درصد از داده‌ها به‌صورت تصادفی انتخاب شدند و به‌عنوان مجموعه داده‌های ارزیابی از کلیه تجزیه و تحلیل‌ها کنار گذاشته شدند. با در اختیار داشتن مقادیر تخمینی و مقادیر حقیقی با استفاده از معیارهای آماری ضریب تبیین، مجذور میانگین مربعات خطا و اریبی به‌صورت مطلق و نسبی، اعتبار مدل‌های آماری ارزیابی شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - y)^2}{n}}$$

$$RMSE\% = \frac{RMSE}{\bar{y}} \times 100$$

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - y)}{n}$$

$$Bias\% = \frac{Bias}{\bar{y}} \times 100$$

همچنین علاوه بر معیارهای مذکور، تفاوت‌های بین مقادیر واقعی ارتفاع با مقادیر برآورد شده داده‌های آزمون با استفاده از داده‌ها و مدل‌های مذکور نیز مقایسه شد. برای بررسی معنی‌دار بودن میانگین تفاوت‌های مقادیر واقعی با مقادیر برآوردشده با استفاده از مدل‌های مذکور، از آزمون تی‌جفتی استفاده شد.

نتایج و بحث

بررسی آماره‌های توصیفی قطر برابر سینه و ارتفاع کل درختان ممرز

میانگین، کمینه و بیشینه قطر برابر سینه به‌ترتیب ۳۴/۰۹، ۸ و ۱۰۴ سانتی‌متر و ارتفاع به‌ترتیب ۲۴/۳۸، ۶ و ۳۱/۵ متر بود. بررسی آماره‌های توصیفی مشخصه‌های قطر برابر سینه و ارتفاع نشان داد که دامنه تغییرات این مشخصه‌ها زیاد بود که نشان می‌دهد توده جنگلی ناهمسال مورد مطالعه قرار گرفته است. بین آماره‌های توصیفی کل داده‌ها و داده‌های آموزش و آزمون تفاوت زیادی وجود نداشت. توزیع داده‌ها نشان داد که مشخصه‌های قطر و ارتفاع از توزیع نرمال پیروی می‌کنند.

جدول ۲ نتایج ضریب‌های به‌دست‌آمده از برازش ۴۳ مدل رگرسیونی غیرخطی انتخاب‌شده و آماره‌های محاسبه شده را نشان می‌دهد.

به استناد نتایج به‌دست‌آمده، مشخص‌شد که مدل رگرسیون غیرخطی پیل رید، پرودان، لجستیک تعدیل‌شده، مورگان–مرسر–فلودین و سیگموئید مضاعف با ضریب تبیین به‌ترتیب ۰/۸۲۶، ۰/۸۲۵، ۰/۸۲۵، ۰/۸۲۵ و ۰/۸۲۵ و درصد مجذور میانگین مربعات خطای به‌ترتیب ۷/۷۴۰، ۷/۶۶۲، ۷/۶۷۰، ۷/۶۸۳ و ۷/۷۶۰ درصد توانسته‌اند بهتر مشخصه ارتفاع را برآورد کنند. البته لازم به‌ذکر است که نتایج همه مدل‌ها، تفاوت زیادی با یکدیگر نداشتند.

نتایج به‌دست‌آمده از بررسی میانگین تفاوت‌های مقادیر مشاهده‌شده با مقادیر برآوردشده مشخصه ارتفاع با استفاده از ۴۳ مدل انتخاب‌شده نشان داد که مدل‌های رگرسیونی غیرخطی نمایی، لندکویسکورف، سهمی درجه ۳، راتکوفسکی وجانسون اسچوماچر دارای کمترین انحراف معیار مقادیر تفاوت‌ها (به‌ترتیب با ۲/۰۱۵، ۲/۰۱۶، ۲/۰۱۶، ۲/۰۱۶ و ۲/۰۱۶ متر) بودند. همچنین تفاوت بین مقادیر برآوردشده همه مدل‌ها با مقادیر واقعی در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار نبود.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.16.5.0]
[DOI: 10.52547/ifej.8.16.29]

جدول ۲– ضرایب مدل‌های رگرسیونی انتخاب‌شده و آماره‌های محاسبه شده

Table 2. chosen Regression model cofficients and calculated statistics

ردیف	ضرایب مدل						ضریب تبیین مدل	میانگین مربعات خطا مدل	مجذور میانگین مربعات خطا ارزیابی	اریبی
	a	b	c	d	e	f				
۱	-۶/۴۰۹	۷/۹۵۵	–	–	–	–	۰/۸	۵/۰۵۶	۲/۰۲۳	-۰/۳۶۹
۲	۳/۸۹۹	۱۸/۳۱۶	–	–	–	–	۰/۸	۵/۰۵۶	۲/۰۲۳	-۰/۳۶۹
۳	۰/۰۰۲	۷/۹۵۵	–	–	–	–	۰/۸	۵/۰۵۶	۲/۰۲۳	-۰/۳۶۹
۴	۵۴/۰۰۳	۰/۶۳۶	۱/۸۳۳	–	–	–	۰/۶۸۸	۷/۹۱۱	۲/۶۶۶	-۰/۴۷۸
۵	۲۷/۶۵	۳/۱۱۶	۰/۷۶	–	–	–	۰/۸۱۹	۴/۵۹۷	۱/۹۴۶	-۰/۲۰۱
۶	۲۷/۶۵	۰/۰۷۶	۱۴/۸۷۹	–	–	–	۰/۸۱۹	۴/۵۹۷	۱/۹۴۶	-۰/۲۰۱
۷	۲۹/۲۴۱	۰/۰۱۴	۱/۴۸۵	–	–	–	۰/۸۲۵	۴/۴۳۸	۱/۸۷	-۰/۲۷۳
۸	-۱۰/۰۷	۰/۰۷۴	-۰/۲۴۱	–	–	–	۰/۷۷۳	۵/۷۴۶	۲/۱۸۹	-۰/۲۹۱
۹	۲۶/۸۹۹	۴/۲۶۸	۰/۲۹۵	–	–	–	۰/۷۶۹	۵/۸۴۲	۲/۲۶۲	-۰/۱۷۸
۱۰	۲۷/۹۲۵	۰/۵۵۴	۰/۰۶۱	–	–	–	۰/۸۲۲	۴/۵۱۳	۱/۹۱	-۰/۲۲۷
۱۱	۲۷/۹۲۵	۱/۷۴	۰/۰۶۱	–	–	–	۰/۸۲۲	۴/۵۱۳	۱/۹۱	-۰/۲۲۷
۱۲	۲۹/۹۹۴	-۰/۰۲۲	–	–	–	–	۰/۸	۵/۰۵	۲/۰۳	-۰/۲۴۱
۱۳	۳۵/۲۳۹	۲۰/۳۴	–	–	–	–	۰/۸۱۵	۴/۶۶۵	۱/۹۳۴	-۰/۲۹۵
۱۴	-۱/۳۳۹	-۰/۱۷۲	–	–	–	–	۰/۸۲۲	۴/۴۸۶	۱/۸۸۱	-۰/۲۹۳
۱۵	۶/۳۵۲	۰/۳۴۳	–	–	–	–	۰/۷۵۹	۶/۰۷۵	۲/۲۹۵	-۰/۳۷۱
۱۶	۳/۴۹۲	-۱۰/۸۳۳	-۰/۹۵۳	–	–	–	۰/۸۲۴	۴/۴۵۹	۱/۸۶۵	-۰/۲۸۹
۱۷	۴/۳۴۴	-۱۲/۰۹۹	۲/۰۰۷	–	–	–	۰/۸۲۴	۴/۴۶۳	۱/۸۶۶	-۰/۲۸۵
۱۸	۲۸/۳۹۸	۰/۴۶	–	–	–	–	۰/۸۲۴	۴/۴۴۴	۱/۸۷۹	-۰/۲۵۲
۱۹	۳۲/۳۱	-۱۲/۰۹۹	–	–	–	–	۰/۸۲۴	۴/۴۴۹	۱/۸۶۶	-۰/۲۸۵
۲۰	۱۶/۶۸۲	۰/۶۷۷	–	–	–	–	۰/۶۰۲	۱۰/۰۴۹	۳/۱۳۳	-۰/۴۳
۲۱	۰/۰۳۳	۰/۳۴۶	۴/۷۷۹	–	–	–	۰/۸۲۵	۴/۴۴۴	۱/۸۶۸	-۰/۲۸۱
۲۲	۳۱/۳۱۱	۱۲/۶۲۶	-۰/۹۸۸	–	–	–	۰/۸۲۴	۴/۴۵۶	۱/۸۶۵	-۰/۲۸۷
۲۳	۳۷/۲۱۶	-۵/۰۸۳	–	–	–	–	۰/۸۱۴	۴/۶۹۶	۱/۹۳۹	-۰/۳۱۴
۲۴	۳۶/۱۶۸	-۵/۴۱۲	–	–	–	–	۰/۸۱۳	۴/۷۳۴	۱/۹۵۱	-۰/۳۱۳
۲۵	۲۷/۰۲۵	۰/۰۴۸	۱/۱۱۳	–	–	–	۰/۸۲۴	۴/۴۶۲	۱/۸۸۲	-۰/۲۴۹
۲۶	۲۶/۵۹۲	۰/۰۶۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	–	–	۰/۸۲۲	۴/۵۴۸	۱/۹۱۴	-۰/۲۲۷
۲۷	۲۷	۰/۰۳۷	۱/۰۵۳	–	–	–	۰/۸۲۴	۴/۴۶۶	۱/۸۸۳	-۰/۲۴۸
۲۸	۳۱/۳۳۹	-۱۳/۳۸۸	۰/۳۹۶	–	–	–	۰/۸۲۴	۴/۴۵۵	۱/۸۶۶	-۰/۲۸۸
۲۹	۲۸/۳۵۸	۲۸/۶۴۲	۰/۹۵۴	–	–	–	۰/۸۲۴	۴/۴۵۸	۳/۵۲۹	-۰/۲۵۳
۳۰	۳۲/۶۳۲	۱۲/۹۱۱	۰/۸۶۸	–	–	–	۰/۸۲۴	۴/۴۵۶	۱/۸۶۷	-۰/۲۹۴
۳۱	-۸۲/۳۷۱	۹۷/۴۵۹	-۰/۰۰۲	–	–	–	۰/۶۴۳	۹/۰۵۳	۲/۹۱۶	-۰/۴۳۱
۳۲	۲/۸۵۳	۱۰۳/۷۶۲	۳۰/۲۳۸	۱/۵۸۴	–	–	۰/۸۲۵	۴/۴۵۱	۱/۸۷۳	-۰/۲۶۹
۳۳	۲۹/۰۶۹	۶/۳۵۵	۱۴/۴۵۶	-۱۹/۳۲۴	۱۱/۱۸	–	۰/۸۲۶	۴/۴۴۷	۱/۸۸۷	-۰/۲۷۶
۳۴	۰/۳۸۳	-۹/۶۸۹	۸۵/۳۶۴	۲/۶۵۹	–	–	۰/۸۲۴	۴/۴۹۰	۱/۸۸۳	-۰/۲۷۴
۳۵	-۰/۰۶۴	۲/۵۲۷	-۴۲/۰۱۸	۳۳۴/۶۱۹	۱۰/۲۷۱	–	۰/۸۲۴	۴/۴۷۷	۱/۸۶۵	-۰/۲۸۸
۳۶	۲۶/۳۱۶	۰/۰۷۹	۳/۵۴۸	–	–	–	۰/۸۱۸	۴/۶۱۴	۱/۹۵۳	-۰/۱۹۶
۳۷	۲۸/۴۸۵	۶۲/۳۳۷	۰/۰۴۴	-۰/۲۰۷	–	–	۰/۸۲۴	۴/۴۸۰	۱/۸۷۳	-۰/۲۴۹
۳۸	۲۸/۳۵۸	۰/۰۴۷	۰/۲۱۴	–	–	–	۰/۸۲۴	۴/۴۵۸	۱/۸۷۹	-۰/۲۵۳
۳۹	۰/۰۷۶	-۰/۱۰۷	۰/۰۷	–	–	–	۰/۷۳۴	۶/۷۲۶	۲/۴۰۸	-۰/۲۵۵
۴۰	۷/۴۰۱	۰/۵۳۱	-۰/۰۰۳	–	–	–	۰/۷۹۷	۵/۱۴۳	۲۰۳۷	-۰/۲۶۵
۴۱	۰/۰۳۹	۱/۵۷۷	۷/۷۸۹	۲۸/۳۴۲	۸	۱۰۴	۰/۸۲۴	۴/۴۶۱	۱/۸۶۵	-۰/۲۶۷
۴۲	۱۰/۷۰۵	-۰/۰۱۲	-۰/۰۱۲	-۰/۱۰۹	۰/۴۴۱	–	۰/۷۲۶	۶/۹۹۰	۲/۴۹۸	-۰/۴۲۶
۴۳	-۱/۷۹۴	۱۲/۶۸	-۱۶/۳۵۸	۸/۰۰۲	۳۱/۵	–	۰/۸۲۵	۴/۴۴۸	۱/۸۹۲	-۰/۲۵۶

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.16.5.0]

[DOI: 10.52547/ifej.8.16.29]

جدول ۳- میانگین تفاوت‌ها و انحراف از معیار تفاوت‌ها

Table 3. Differences mean and Differences standard diviation

ردیف	مدل	میانگین واقعی ارزیابی	میانگین برآورد شده	درصد مجذور میانگین مربعات خطا ارزیابی	درصد اریبی	آماره t	معنی‌داری	میانگین تفاوت‌ها	انحراف از معیار تفاوت‌ها
۱	لگاریتمی	۲۴/۳۸	۲۴/۰۱۱	۸/۲۹۸	-۱/۵۱۴	۱/۵۹۹	۰/۱۱۳	۰/۳۶۹	۲/۱۳۸
۲	لگاریتمی ۲	۲۴/۳۸	۲۴/۰۱۱	۸/۲۹۸	-۱/۵۱۴	۱/۵۹۹	۰/۱۱۳	۰/۳۶۹	۲/۱۳۸
۳	لگاریتمی ۳	۲۴/۳۸	۲۴/۰۱۱	۸/۲۹۸	-۱/۵۱۴	۱/۵۹۹	۰/۱۱۳	۰/۳۶۹	۲/۱۳۸
۴	لگاریتمی تعدیل‌شده	۲۴/۳۸	۲۳/۹۰۲	۱۰/۹۳۵	-۱/۹۶۱	۱/۶۶۸	۰/۰۹۸	۰/۴۷۸	۲/۷۲۹
۵	لجستیک	۲۴/۳۸	۲۴/۱۷۹	۷/۹۸۲	-۰/۸۲۴	۰/۷۹۳	۰/۴۳	۰/۲۰۱	۲/۱۰۸
۶	لجستیک ۲	۲۴/۳۸	۲۴/۱۷۹	۷/۹۸۲	-۰/۸۲۴	۰/۷۹۳	۰/۴۳	۰/۲۰۱	۲/۱۰۸
۷	لجستیک تعدیل‌شده	۲۴/۳۸	۲۴/۱۰۶	۷/۶۷	-۱/۱۲	۱/۱۹۸	۰/۲۳۳	۰/۲۷۳	۲/۰۲۴
۸	لجستیک تعدیل‌شده ۲	۲۴/۳۸	۲۴/۰۸۹	۸/۹۷۹	-۱/۱۹۴	۱/۱۳۲	۰/۲۶	۰/۲۹۱	۲/۳۰۳
۹	لگاریتمی لجستیک	۲۴/۳۸	۲۴/۲۰۱	۹/۲۷۸	-۰/۷۳	۰/۶	۰/۵۵	۰/۱۷۸	۲/۴
۱۰	گومپرتز	۲۴/۳۸	۲۴/۱۵۳	۷/۸۳۴	-۰/۹۳۱	۰/۹۳۹	۰/۳۵	۰/۲۲۷	۲/۰۷۱
۱۱	گومپرتز ۲	۲۴/۳۸	۲۴/۱۵۳	۷/۸۳۴	-۰/۹۳۱	۰/۹۳۹	۰/۳۵	۰/۲۲۷	۲/۰۷۱
۱۲	هایپربولیک	۲۴/۳۸	۲۴/۱۳۹	۸/۳۲۶	-۰/۹۸۹	۰/۹۵۶	۰/۳۴۱	۰/۲۴۱	۲/۱۸۴
۱۳	هایپربولیک ۲	۲۴/۳۸	۲۴/۰۸۵	۷/۹۳۳	-۱/۲۱	۱/۲۷۷	۰/۲۰۴	۰/۲۹۵	۲/۰۷۲
۱۴	هایپربولیک ۳	۲۴/۳۸	۲۴/۰۸۷	۷/۷۱۵	-۱/۲۰۲	۱/۲۹۶	۰/۱۹۸	۰/۲۹۳	۲/۰۲۶
۱۵	توانی	۲۴/۳۸	۲۴/۰۰۹	۹/۴۱۳	-۱/۵۲۲	۱/۴۳۶	۰/۱۵۴	۰/۳۷۱	۲/۳۹۳
۱۶	نمایی	۲۴/۳۸	۲۴/۰۹۱	۷/۶۵	-۱/۱۸۵	۱/۲۸۴	۰/۲۰۲	۰/۲۸۹	۲/۰۱۵
۱۷	نمایی ۲	۲۴/۳۸	۲۴/۰۹۴	۷/۶۵۴	-۱/۱۶۹	۱/۲۶۵	۰/۲۰۹	۰/۲۸۵	۲/۰۱۸
۱۸	نمایی ۳	۲۴/۳۸	۲۴/۱۲۷	۷/۷۰۷	-۱/۰۳۴	۱/۰۸۴	۰/۲۸۱	۰/۲۵۲	۲/۰۳۶
۱۹	نمایی ۴	۲۴/۳۸	۲۴/۰۹۴	۷/۶۵۴	-۱/۱۶۹	۱/۲۶۵	۰/۲۰۹	۰/۲۸۵	۲/۰۱۸
۲۰	نمایی ۵	۲۴/۳۸	۲۳/۹۴۹	۱۲/۸۵۱	-۱/۷۶۴	۱/۲۷	۰/۲۰۷	۰/۴۳	۳/۱۹۵
۲۱	پرودان	۲۴/۳۸	۲۴/۰۹۹	۷/۶۶۲	-۱/۱۵۳	۱/۲۴۱	۰/۲۱۷	۰/۲۸۱	۲/۰۲
۲۲	لندکویسکورف	۲۴/۳۸	۲۴/۰۹۲	۷/۶۵	-۱/۱۷۷	۱/۲۷۶	۰/۲۰۵	۰/۲۸۷	۲/۰۱۶
۲۳	هندسی	۲۴/۳۸	۲۴/۰۶۶	۷/۹۵۳	-۱/۲۸۸	۱/۳۷۴	۰/۱۷۲	۰/۳۱۴	۲/۰۷۳
۲۴	هندسی ۲	۲۴/۳۸	۲۴/۰۶۷	۸/۰۰۲	-۱/۲۸۴	۱/۳۶۳	۰/۱۷۶	۰/۳۱۳	۲/۰۸۴
۲۵	چاپمن-ریچارد	۲۴/۳۸	۲۴/۱۳	۷/۷۱۹	-۱/۰۲۱	۱/۰۶۸	۰/۲۸۸	۰/۲۴۹	۲/۰۴
۲۶	چاپمن-ریچارد ۲	۲۴/۳۸	۲۴/۱۵۳	۷/۸۵۱	-۰/۹۳۱	۰/۹۳۶	۰/۳۵۲	۰/۲۲۷	۲/۰۷۵
۲۷	وایبول	۲۴/۳۸	۲۴/۱۳۲	۷/۷۲۴	-۱/۰۱۷	۱/۰۵۹	۰/۲۹۲	۰/۲۴۸	۲/۰۴۱
۲۸	رانکوفسکی	۲۴/۳۸	۲۴/۰۹۲	۷/۶۵۴	-۱/۱۸۱	۱/۲۷۸	۰/۲۰۴	۰/۲۸۸	۲/۰۱۶
۲۹	رگرسیون مجانب	۲۴/۳۸	۲۴/۱۲۷	۱۴/۴۷۵	-۱/۰۳۸	۱/۰۸۶	۰/۲۸	۰/۲۵۳	۲/۰۳۶
۳۰	جانسون اسچوماچر	۲۴/۳۸	۲۴/۰۸۶	۷/۶۵۸	-۱/۲۰۶	۱/۳۱۱	۰/۱۹۳	۰/۲۹۴	۲/۰۱۶
۳۱	مچرلیخ	۲۴/۳۸	۲۳/۹۴۸	۱۱/۹۶۱	-۱/۷۶۸	۱/۳۶۶	۰/۱۷۵	۰/۴۳۱	۲/۹۸
۳۲	مورگان-مرسر-فلودین	۲۴/۳۸	۲۴/۱۱۱	۷/۶۸۳	-۱/۱۰۳	۱/۱۷۵	۰/۲۴۳	۰/۲۶۹	۲/۰۲۸
۳۳	پیل رید	۲۴/۳۸	۲۴/۱۰۴	۷/۷۴	-۱/۱۳۲	۱/۲۰۳	۰/۲۳۲	۰/۲۷۶	۲/۰۴۱
۳۴	سهمی درجه ۲	۲۴/۳۸	۲۴/۱۰۶	۷/۷۲۴	-۱/۱۲۴	۱/۱۹۶	۰/۲۳۴	۰/۲۷۴	۲/۰۳۶
۳۵	سهمی درجه ۳	۲۴/۳۸	۲۴/۰۹۲	۷/۶۵	-۱/۱۸۱	۱/۲۸	۰/۲۰۳	۰/۲۸۸	۲/۰۱۶
۳۶	ورهالتز	۲۴/۳۸	۲۴/۱۸۴	۸/۰۱۱	-۰/۸۰۴	۰/۷۶۵	۰/۴۴۶	۰/۱۹۶	۲/۱۱۶
۳۷	وان برتالانفی	۲۴/۳۸	۲۴/۱۳	۷/۶۸۳	-۱/۰۲۱	۱/۰۷۳	۰/۲۸۶	۰/۲۴۹	۲/۰۳
۳۸	وان برتالانفی ۲	۲۴/۳۸	۲۴/۱۲۷	۷/۷۰۷	-۱/۰۳۸	۱/۰۸۶	۰/۲۸	۰/۲۵۳	۲/۰۳۶
۳۹	تراکم محصول	۲۴/۳۸	۲۴/۱۲۵	۹/۸۷۷	-۱/۰۴۶	۰/۸۸۸	۰/۳۷۷	۰/۲۵۵	۲/۵۱۷
۴۰	درجه دوم	۲۴/۳۸	۲۴/۱۱۵	۸/۳۵۵	-۱/۰۸۷	۱/۰۷۵	۰/۲۸۵	۰/۲۶۵	۲/۱۷۳
۴۱	شنات	۲۴/۳۸	۲۴/۱۱۳	۷/۶۵	-۱/۰۹۵	۱/۱۷	۰/۲۴۵	۰/۲۶۷	۲/۰۲
۴۲	بتا	۲۴/۳۸	۲۳/۹۵۳	۱۰/۲۴۶	-۱/۷۴۷	۱/۵۹۹	۰/۱۲۲	۰/۴۲۶	۲/۵۷۷
۴۳	سیگموئید مضاعف	۲۴/۳۸	۲۴/۱۲۴	۷/۷۶	-۱/۰۵	۱/۰۹۴	۰/۲۷۶	۰/۲۵۶	۲/۰۴۹

معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

هدف اصلی آماربرداری جنگل، آماده کردن اطلاعات دقیق و به‌هنگام برای برنامه‌ریزی، مدیریت منابع جنگلی، توسعه سیاست‌ها و برنامه‌های حفاظتی است که این تصمیم‌گیری‌ها نیازمند اطلاعات دقیق از کل منطقه است. بررسی نتایج به‌دست‌آمده از آماره‌های توصیفی داده‌های زمینی بیانگر وضعیت متفاوت ساختار توده جنگلی در منطقه مورد مطالعه است که با نتایج تحقیقات محمدی وشتایی همخوانی دارد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که منطقه مورد مطالعه نمونه خوبی از جنگل‌های خزری بوده است و به‌طور تقریب تمامی قطر و ارتفاع درختان ممرز را در برگرفته است. نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌سازی رابطه قطر- ارتفاع با استفاده از ۴۳ مدل رگرسیونی غیرخطی نشان داد که پنج مدل رگرسیونی غیرخطی پیل رید، پرودان، لجستیک تعدیل‌شده، مورگان-مرسر-فلودین و سیگموئید مضاعف با ضریب تبیین به‌ترتیب ۰/۸۲۶، ۰/۸۲۵، ۰/۸۲۵، ۰/۸۲۵ و ۰/۸۲۵ و درصد مجذور میانگین مربعات خطای به‌ترتیب ۷/۷۴۰، ۷/۶۶۲، ۷/۶۷۰، ۷/۶۸۳ و ۷/۷۶۰ درصد، بهتر توانستند ارتفاع درختان ممرز را برآورد کنند، که با نتایج بیات و همکاران (۳)، هانگ و همکاران (۱۱)، لامبرز و همکاران همخوانی دارد. به‌طور کلی نتایج به‌دست‌آمده از معیارهای ارزیابی (درصد مجذور میانگین مربعات خطا، اریبی و انحراف معیار تفاوت‌های مقادیر برآوردشده با مقادیر واقعی) تفاوت زیادی با یکدیگر نداشتند و از نظر آماری نیز تفاوت معنی‌داری بین مقادیر برآوردشده با استفاده از مدل‌های مختلف با مقادیر واقعی در سطح اطمینان ۹۹ درصد وجود نداشت که با نتایج محمدی و شتایی همخوانی دارد و پنج مدل ذکرشده دارای بالاترین مقدار ضریب تبیین بودند. همچنین مجذور میانگین مربعات خطای به‌دست‌آمده در پژوهش پیش‌رو (حدود دو متر) در مقایسه با

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.16.5.0]
[DOI: 10.52547/ifej.8.16.29]

مطالعات دیگر که حدود دو تا چهار متر بود (۱،۶،۹) تفاوت زیادی نداشت. بررسی میانگین مقادیر برآوردشده ارتفاع با مقادیر واقعی ارتفاع نیز نشان داد که تمامی مدل‌ها مقادیر ارتفاع را کمتر از مقدار واقعی برآورد کردند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش پیش‌رو و مقایسه آن با مطالعات دیگر، درنهایت می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که مدل‌های رگرسیونی غیرخطی پیل رید، پرودان، لجستیک تعدیل‌شده، مورگان–مرسر–فلودین و سیگموئید مضاعف ، نتایج مشابه و نزدیک به یکدیگر داشته و توانایی خوبی در برآورد ارتفاع درختان ممرز با دقت مناسب داشتند، بنابراین این مدل‌ها می‌توانند در برآورد ارتفاع درختان ممرز درصورت تأیید و تکرار این نتایج در مناطق جنگلی دیگر شمال ایران در جنگل‌های پهن‌برگ استفاده شوند. مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش پیش‌رو با مطالعات دیگر انجام‌شده نشان داد که درصد مجذور میانگین مربعات خطا و انحراف معیار تفاوت‌های به‌دست‌آمده در پژوهش پیش‌رو برای ارتفاع کمتر است که به عامل‌هایی مانند نوع توده (پهن‌برگ یا سوزنی‌برگ)، ناهمسال یا همسال بودن، منظم یا نامنظم بودن و نوع مدل مورد استفاده و به‌کارگیری الگوریتم‌های دیگر مانند شبکه عصبی مصنوعی و غیره برمی‌گردد. امید است که تحقیقات تکمیلی در مورد استفاده از الگوریتم‌های دیگر برآورد، مانند مدل‌های تعمیم‌یافته، جنگل تصادفی، نزدیکترین همسایه، ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی مصنوعی، ماتریس دستیابی به اهداف و مدل‌ها با اثرات آمیخته در برآورد ارتفاع درختان ممرز و همچنین گونه‌های دیگر در مناطق دیگر جنگل‌های هیرکانی انجام شود تا بتوان از اطلاعات دقیق در برنامه‌ریزی، مدیریت پایدار منابع جنگلی و برنامه‌های حفاظتی استفاده کرد و بتوان این مدل‌ها را به‌صورت عملیاتی در برنامه‌ریزی جنگل به‌کار برد.

منابع

1. Ahmadi, K., J. Alavi, M. Tabari and W. Aertsen. 2013. Non-linear height-diameter models for oriental beech (Fagus orientalis Lipsky) in the Hyrcanian forests, Iran. Biotechnology, Agronomy, Society and Environment Journal, 17(3): 431-440 (In Persian).
2. Bailey, R.L. 1979. The potential of Weibull-type functions as flexible growth curves: Discussion. Canadian Journal of Forest Research, 10: 117-118.
3. Bayat, M., M. Namiranian and M. Zobeiry. 2013. Determining the growing Volume, Height and number of trees in the forest using permanent sample plots. Forest and Wood Products, 67(3): 423-435 (In Persian).
4. Buford, M.A. 1986. Height-diameter relationship at age 15 in loblolly pine seed sources. Forest Science, 32: 812-818.
5. Castano-Santamaria, J., F. Crecente-Campo, J.L. Fernandez-Martinez, M. Barrio-Anta and J.R. Obeso. 2013. Tree height prediction approaches for uneven-aged beech forests in northwestern Spain. Forest Ecology and Management, 30(7): 63-73.
6. Castedo, F., U. Dieguez-Aranda, M. Barrio, M.R. Sanchez and K. von Gadow. 2006. A generalized height-diameter model including random components for radiate pine plantations in northwestern Spain. Forest Ecology and Management, 22(9): 202-213.
7. Darroch, A.B. and R.J. Baker. 1990. Grain filing in three spring wheat genetyes: statistical analysis, Crop science, 30: 525-529.
8. Dorado, F.C., U. Dieguez-Aranda, M.S. Rodriguez, M. Sanchez and K.V. Gadow. 2006. A generalized height-diameter model including random components for radiata pine plantations in northwestern Spain. Forest Ecology and Management, 22(9): 202-213.
9. Fang, Z. and R.L. Bailey. 1998. Height-diameter models for tropical forest on Hainan Island in southern China. Forest Ecology and Management, 110(3): 315-327.
10. Gadow, K.V., P. Real and J.G. Alvarez Gonzalez. 2001. Modelizacion del Crecimientoyla Evolucion de los Bosques. IUFRO World Series, 12: 21.
11. Huang, S., S.J. Titus and D.P. Wiens. 1992. Comparison of nonlinear height-diameter functions for major Alberta tree species. Canadian Journal of Forest Research, 22(2): 1297-1304.
12. Larsen, D.R. and D.W. Hann. 1987. Heightdiameter Equations for Seventeen Tree Species in Southwest Oregon. Oregon State University, Forest Recourse Laboratory, USA, 49 pp.
13. Lumbres I.R.C., Y.J. Lee, Y.O. Seo, S.H. Kim, J.K. Chio and W.K. Lee. 2011. Development and validation of nonlinear height-DBH models for major coniferous tree species in Korea. Forest Science and Technology, 7(4): 117-125.
14. Meyer, H.A. 1940. A mathematical expression for height curves. Journal of Forestry, 38: 415-420.
15. Mohammadi, J. and Sh. Shataee. 2016. Study of different height-diameter models for hornbeam (*Carpinus betulus* L.) in uneven-aged stands of Shastkalateh forest of Gorgan. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 24(4): 16-22 (In Persian).
16. Morrison, M.L., B.G. Marcot and R.W. Mannan. 1992. Wildlife Habitat Relationships: Concepts and Applications. University of Wisconsin Press, Madison, 343 pp.
17. Narinc, D., E. Karaman, M.Z. Firat and T. Aksoy. 2010. Comparison of nonlinear growth models to describe the growth in Japanese quail. Journal of animal and veterinary advances, 9(14): 1961-1966.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.16.5.0]
[DOI: 10.52547/ifej.8.16.29]

18. Newton, P.F. and I.G. Amponsah. 2007. Comparative evaluation of five height-diameter models developed for black spruce and jack pine stand-types in terms of goodness-of-fit, lack-of-fit and predictive ability. Forest Ecology and Management, 247(3): 149-166.
19. Özçelik, R., M.J. Diamantopoulou, F. CrecenteCampo and F. Eler. 2013. Estimating Crimean juniper tree height using nonlinear regression and artificial neural network models. Forest Ecology and Management, 30(6): 52-60.
20. Pearl, R. and L.J. Reed. 1920. On the rate of growth of the population of the United States since 1790 and its mathematical representation. Proceedings of the National Academy of Sciences, 6: 275-288.
21. Parresol, B.R. 1992. Bald cypress heightdiameter equations and their prediction confidence intervals. Canadian Journal of Forest Research, 22(9): 1429-1434.
22. Peng, C., L. Zhang and J. Liu. 2001. Developing and validating nonlinear height-diameter models for major tree species of Ontario's boreal forest. Northern Journal Application of Forestry, 18(1): 87-94.
23. Prodan, M. and S.H. Gardiner. 1968. Forest Biometrics. Pergamon Press, Oxford, 447 pp.
24. Ratkowsky, D.A. and T.J. Reedy. 1986. Choosing near-linear parameters in the fourparameter logistic model for radioligand and related assays. Biometrics, 42: 575-582.
25. Sabouri, A., H. Sabouri and I. Keramatlou. 2014. Analysis and application of nonlinear regression in agricultural sciences, gardening and natural resources. Narenjestan, Gorgan, Iran, 138 pp (In Persian).
26. Sadeghi Motlagh, M. 1996. Determine the critical point P in sugar beet. Iranian Congress of Soil Science. College of Agriculture, Karaj, Iran, 101-105 (In Persian).
27. Sharma, M. and S.Y. Zhang. 2004. Heightdiameter models using stand characteristics for Pinus banksiana and Picea mariana. Scandinavian Journal of Forest Research, 19(2): 442-451.
28. Sit, V. and M. Poulin-Costello. 1994. Catalogue of curves for curve fitting. Forest science research branch, Ministry of forests.
29. Sparre, P. and S.C. Venema. 1992. Introduction to tropical fish stock assessment. Food and agriculture organization of the United Nations, 376 pp.
30. Stage, A.R. 1975. Prediction of Height Increment for Models of Forest Growth. Research Paper INT-164, Published by U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, Utah, USA, 32 pp.
31. Vargas-Larreta, B., F.C. Dorado, G.J. LvarezGonzalez, M. Barrio-Anta and F. CruzCobos. 2009. A generalized height-diameter model with random coefficients for unevenaged stands in El Salto, Durango (Mexico). Forestry, 82(4): 445-462.
32. Yin, X., J. Gouadrian, E.A. Latinga, J. Vos, and J.H. Spiertz. 2003. A flexible sigmoid growth function of determinate growth. Annals of botany, 91: 361- 371.
33. Yuancai, L. and B.R. Parresol. 2001. Remarks on height-diameter modelling. Research Note SE-10, USDA, Forest Service, Southern Research Station, Asheville, NC, USA, 8 pp.
34. Zavalloni, C., J.A. Andresen and J.A. Flore. 2006. Phenological models of flower bud stages and fruit growth of Montmorency sour cherry based on growing degree-day accumulation. Journal of the American society for horticultural science, 131(5): 601-607.
35. Zhang, L. 1997. Cross-validation of nonlinear growth functions for modeling tree heightdiameter distributions. Annals of Botany, 79(2): 251-257.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.16.5.0]
[DOI: 10.52547/ifej.8.16.29]

Evaluating of Different Height-Diameter Nonlinear Models for Hornbeam in Uneven-Aged Stands (Case Study: Golestan Rezaeian Forest)

Anoshirvan Alemi[1], Jafar Oladi[2], Asghar Fallah[3] and Yaser Maghsodi[4]

1- Ph.D Student, Faculty of Forestry, Sari Agriculture Science and Natural Resources University, Iran
(Corresponding author: Anoshiravana@yahoo.com)
2- Associate Professor, Faculty of Forestry, Sari Agriculture Science and Natural Resources, University
3- Associate Professor, Faculty of Forestry, Sari Agriculture Science and Natural Resources, University
4- Assistant Professor, College of Engineering, Khajeh Nasiroddin Tosi University of Technology, Tehran
Received: January 14, 2019 Accepted: February 20, 2019

Abstract

Projection of stand development over time relies on accurate height-diameter functions. In this study, we evaluated the capability of 43 nonlinear models to estimate hornbeam heights in a portion Rezaeian experimental forest in Gorgan, Golestan province. We applied a systematic random sampling method to collect field data within a 150×200 meter network (3.33% intensity). It resulted in 200 circular plots with 17.84 m (0.1 ha) radius. In each plot tree species, height and diameter at breast height (DBH) of all trees with DBH>7.5 cm were measured, resulting in 2144 pairs of measured heightdiameter. From the available dataset, we included 70% in the model development and the remaining 30% to validate the models. The relationship between height (dependent variable) and DBH (independent variable) was analyzed using 43 non-linear regression models. The results showed no significant difference between the applied model diagnostics, and the applied t-test showed non-significant mean stand height estimation using all models and actual height at 99% confidence level. In addition, the results of peal reed, prodan, Morgan-Merser-Florin, Logestic modifield and Double-Sigmoid models with R^2 of 0.826, 0.825, 0.825, 0.825 and 0.825 and RMSE% of 7.74%, 7.662%, 7.67%, 7.683% and 7.76%, respectively were almost similar in that they were better predictors of hornbeam height. Based on the results, we conclude that these models can be used for predicting hornbeam height in similar broadleaved stands of northern Iran, provided that comparative studies are conducted elsewhere to approve the results obtained here.

Keywords: Height-diameter model, Hornbeam, Inventory, Rezaeian forests

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.16.5.0]
[DOI: 10.52547/ifej.8.16.29]